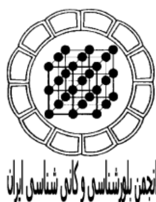
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی



سال سی و یکم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۷۲۱ تا ۷۳۶

سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی ماسه سنگ‌های سازند سیبزار (دونین میانی) در شرق نیشابور: کاربردی برای موقعیت زمین‌ساختی و آب و هوای دیرینه

ابوالفضل جمشیدی‌پور، محمد خانه‌باد*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴، نسخه نهایی: ۱۴۰۲/۳/۲۲)

چکیده: سازند سیبزار (دونین میانی) در ۳۰ کیلومتری شهر نیشابور از دولستون با میان لایه‌های ماسه سنگی پایینی، آذرین لایه بازالتی میانی و دولستون تا دولستون‌های آهکی بالایی با ضخامت ۳۳۴ متر تشکیل شده است. میان لایه‌های ماسه سنگی این سازند دارای کوارتزهای ریزدانه تا گاهی متوسط دانه، با مقادیر کمی از فلدسپات و خرده سنگ‌های رسوبی هستند. با توجه به داده‌های برآمده از سنگ‌نگاری و جایابی آن‌ها بر نمودار رده‌بندی سنگ‌های رسوبی (QFRF)، ماسه‌سنگ‌های سازند سیبزار بیشتر از نوع کوارتز آرنایت و نیمه آرکوز و در بعضی از نمونه‌ها، لیت آرنایت (خرده سنگی) است. با بررسی‌های زمین شیمیایی، فراوانترین اکسیدهای اصلی در این ماسه سنگ‌ها، SiO_2 و Al_2O_3 با غلظت میانگین به ترتیب ۷۷/۸ و ۸/۳ درصد وزنی هستند. با توجه به نسبت‌های $SiO_2/Al2O_3$ و Na_2O/K_2O و سایر مقادیر اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی چون CaO، Fe_2O_3، TiO_2، Zr و V، این ماسه سنگ‌ها دارای مقادیر کوارتز متوسط تا بالا و خاستگاه رسوبی کوارتزی بوده و در یک حوضه درون کراتونی در کرانه غیرفعال قاره‌ای واقع هستند. سنگ خاستگاه این ماسه سنگ‌ها از نوع آذرین حدواسط تا اسیدی بوده و دستخوش درجه‌های متوسط تا شدیدی از هوازدگی شیمیایی شده‌اند. با توجه به شواهد، منبع رسوب‌های آذرین سیلی آواری برای ماسه سنگ‌های سازند سیبزار از ورقه‌های عربستان و آفریقا بوده است.

واژه‌های کلیدی: *ماسه سنگ؛ خاستگاه؛ سازند سیبزار؛ دونین میانی؛ جغرافیای دیرینه.*

مقدمه

امروزه روش‌های آزمایشگاهی (سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی) برای بررسی فرآیندهای زمین‌شیمیایی، زمین‌ساخت، خاستگاه و جغرافیای دیرینه سنگ‌های رسوبی استفاده می‌شود. بررسی خاستگاه برای تعیین سنگ خاستگاه، پستی و بلندی، شرایط اقلیمی در آن منطقه، موقعیت زمین‌ساختی، تاریخچه حمل و نقل، تغییرات درونزادی و جغرافیای دیرینه است [۲،۱]. ترکیب یک سنگ رسوبی در اصل با سنگ خاستگاه و تغییرات صورت گرفته طی حمل و نقل از ناحیه سنگ خاستگاه کنترل می‌شود [۳-۶]. پژوهشگران طی چند دهه گذشته، مدل‌ها و نمودارهایی مربوط به سنگ‌شناسی ناحیه خاستگاه [۷]، موقعیت زمین‌ساختی [۳]، هوازدگی شیمیایی [۸] و سنگ‌نگاری [۱۰،۹]، را برای سنگ‌های رسوبی آذرین سیلی-آواری استفاده کرده‌اند.

سازند سیبزار نخستین بار توسط فلوگل و روتنر [۱۱] به عنوان دولومیت خاکستری شناسایی گردید و بعدها بررسی‌های دقیق‌تر بوسیله روتنر و همکاران [۱۲] در کوه‌های درنجال انجام شد. این سازند از کوه‌های بینالود [۱۳] تا انارک [۱۴]، رشته کوه‌های شتری و شمال کرمان [۱۵] رخنمون دارد. این سازند دولومیتی با میان لایه‌های آهکی است. ویژگی‌ها و الگوهای چرخه‌ای چون دولومیت‌های توده‌ای، لایه‌های ریزبیالیت‌ها با ساخت‌های تی پی (tepee) محلی و سطوح فرسایشی نشان دهنده رسوبگذاری در یک محیط جزر و مدی

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۱۶۹۱۴۸، پست الکترونیکی: mkhanehbad@um.ac.ir

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]

است. در منطقه بینالود، سازند سیبزار دارای یک آذرین لایه از جنس آذرین نفوذی است [۱۵].

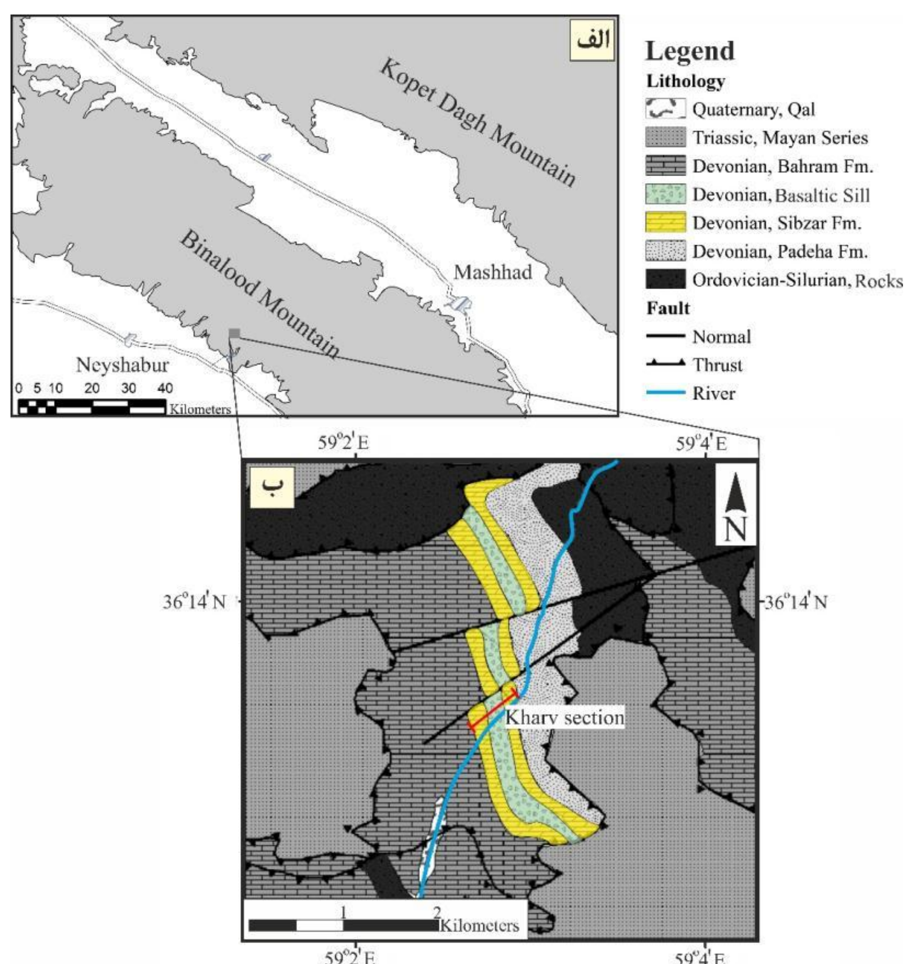
سازند سیبزار بطور معمول ضخامتی معادل چند ده متر دارد، اما در مناطقی چون انارک (۱۰۰ متر)، کاشمر (۲۰۰ متر) و در کوه‌های درنجال بیش از ۳۰۰ متر ضخامت دارد. بدلیل دولومیت‌زایی سراسری و شرایط جزر و مدی، مواد آلی و بقایای سنگواره در این سازند بسیار نایاب و ناچیز گزارش شده‌اند. این سازند در نزدیکی کالشانه (کوه های درنجال) دارای ۲۵ متر سنگ آهک بوده که شامل مجموعه ای مرجانی از نوع چین‌دار و thamnoporid است [۱۵].

بخش‌های بالایی سازند مولی در پهنه آذربایجان از نظر زمانی و رخساره‌ای می‌تواند معادل سازند سیبزار باشد [۱۵].

در این پژوهش، خاستگاه و جغرافیای دیرینه ماسه سنگ‌های سازند سیبزار برپایه اطلاعات بدست آمده از سنگ-نگاری و همچنین غلظت اکسیدهای اصلی و تعدادی از عناصر فرعی در این ماسه سنگ‌ها بررسی شده است.

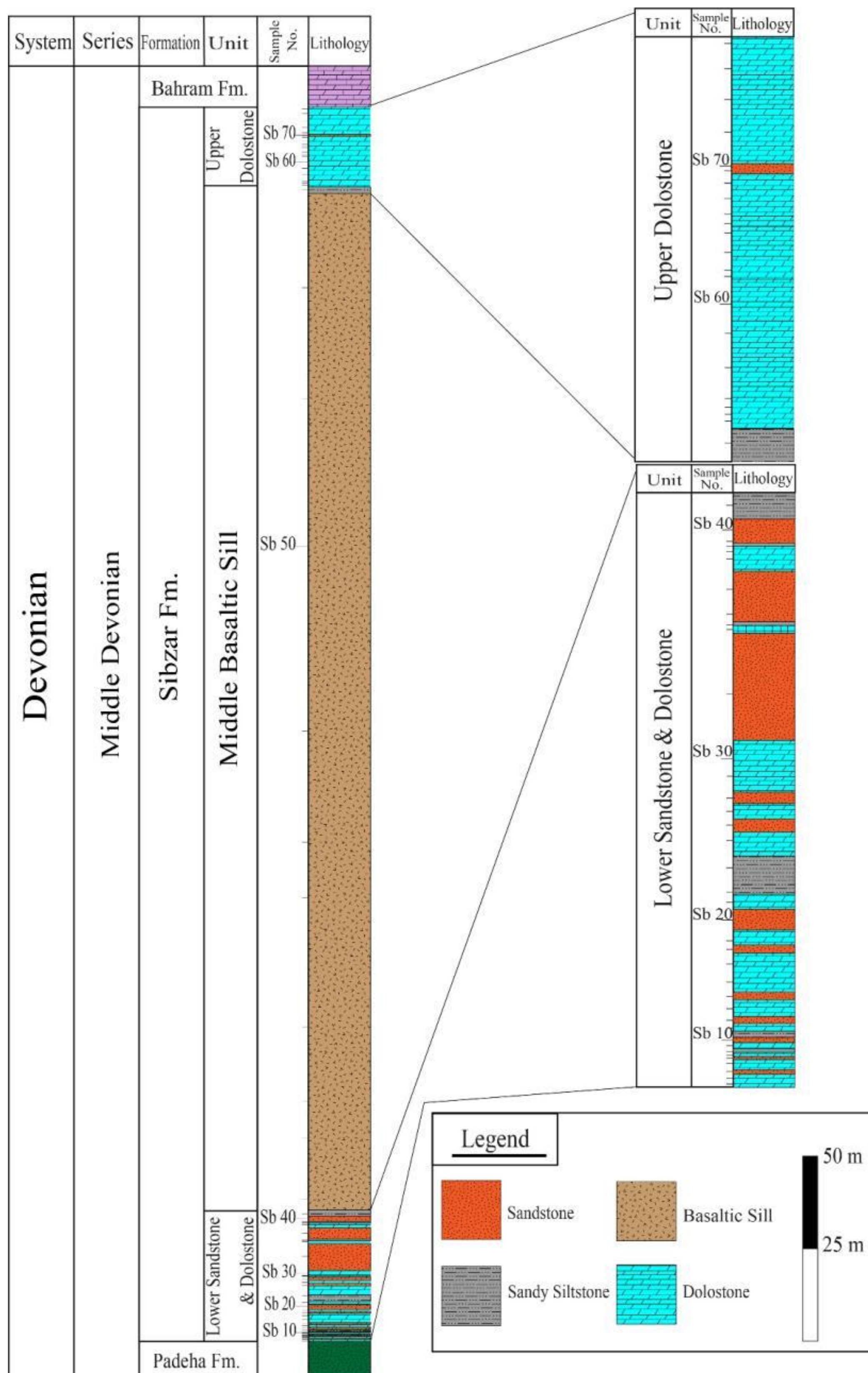
چینه‌نگاری سنگی

این برش در ۳۰ کیلومتری شرق نیشابور و در ۱۰ کیلومتری شمال شهر خرو و در دره غربی آن واقع است. از راه‌های دسترسی به این برش می‌توان به جاده مشهد-نیشابور اشاره نمود (شکل ۱ الف). مختصات این برش ″۲۴ ′۱۳ °۳۶ شمالی و ″۵۲،۱ ′۰۲ °۵۹ شرقی و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد ۱۸۳۲ متر است (شکل ۱ ب). ضخامت کل این سازند ۳۳۴ متر است. در این ناحیه سازند سیبزار بیشتر شامل دولستون، تعدادی میان لایه ماسه سنگی تیره رنگ به همراه یک آذرین لایه بازالتی سبز تیره تا سیاه رنگ است. این سازند در قاعده پس از لایه‌های ماسه سنگ خاکستری تا تیره رنگ سازند پادها شروع شده (شکل ۲ و شکل‌های ۳ الف، ب) و با سنگ آهک-های قهوه‌ای و خاکستری رنگ سازند بهرام پایان می‌یابد (شکل ۳ پ).

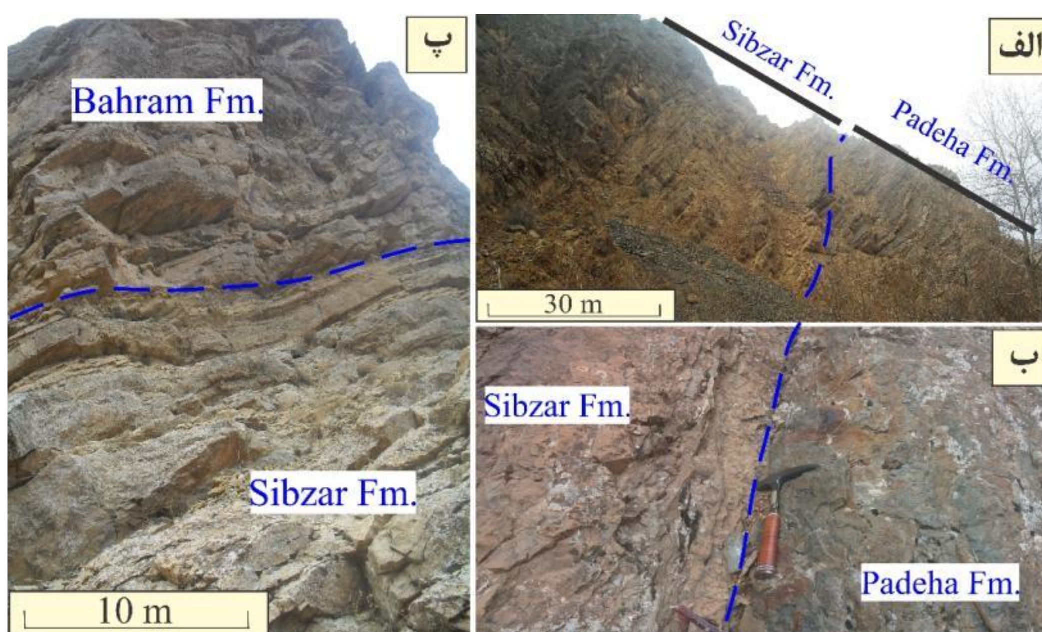


شکل ۱ الف) موقعیت مکانی سازند سیبزار در برش مورد بررسی و راه‌های دسترسی به آن، ب) بخشی از نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی (شکل [۱۶،۱۷].

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]



شکل ۲ ستون چینه شناسی سازند سیبزار در برش خرو.



شکل ۳ تصاویر صحرایی سازند سیبزار در برش خرو در شرق نیشابور: الف) بخش پایینی سازند سیبزار و ناپیوستگی آن با سازند پادها از نمای دور، ب) بخش پایینی سازند سیبزار و ناپیوستگی آن با سازند پادها از نمای نزدیک و پ) بخش بالایی سازند سیبزار و ناپیوستگی آن با سازند بهرام (دید هر سه تصویر به سمت شرق است).

از نظر تغییرات سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی، این سازند از سه واحد تشکیل گردیده است : ۱) واحد پایینی- ماسه سنگ و دولوستون پایینی که بیشتر از دولستون‌های نخودی و تیره رنگ به همراه تعدادی میان لایه ماسه‌سنگی تا لای‌سنگی ماسه‌ای تیره رنگ تشکیل شده است. ضخامت این واحد ۳۶ متر اندازه گیری شده است؛ ۲) واحد میانی- آذرین لایه بازالتی میانی که از یک آذرین لایه مافیک سبز تا سیاه رنگ به ضخامت ۲۷۵ متر تشکیل شده است و ۳) واحد بالایی- دولستون بالایی که از دولستون تا دولستون‌های آهکی نخودی و تیره رنگ به همراه چند لایه محدود ماسه سنگ به ضخامت ۲۳ متر تشکیل شده است. این دولستون‌ها بیشتر نخودی رنگ و گاهی تیره رنگ و اغلب با ضخامت کمتر از ۲ متر هستند، که به سازند بهرام می‌رسد.

روش بررسی

برای بررسی سنگ‌نگاری ماسه‌سنگ‌های سازند سیبزار در این برش، ۲۱ نمونه سنگی از میان لایه‌های ماسه‌سنگی برداشت شد. از همه این ۲۱ نمونه، مقطع نازک در کارگاه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه و با میکروسکوپ پلاریزان بررسی گردید. در هر یک از نمونه‌های ماسه سنگ، ۲۵۰ تا ۳۰۰ نقطه به روش گزی - دیکسون [۱۹،۱۸] شمارش و بررسی مودال در آنها انجام شد (جدول ۱). پس از بررسی سنگ‌نگاری، تعداد ۱۰ نمونه از ماسه سنگ‌ها انتخاب و برای تعیین غلظت اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی با طیف‌سنج فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) فیلیپس مدل PW1410 (ساخت کشور هلند) به آزمایشگاه بیم گستر تابان واقع در شهر تهران فرستاده شدند.

یافته ها

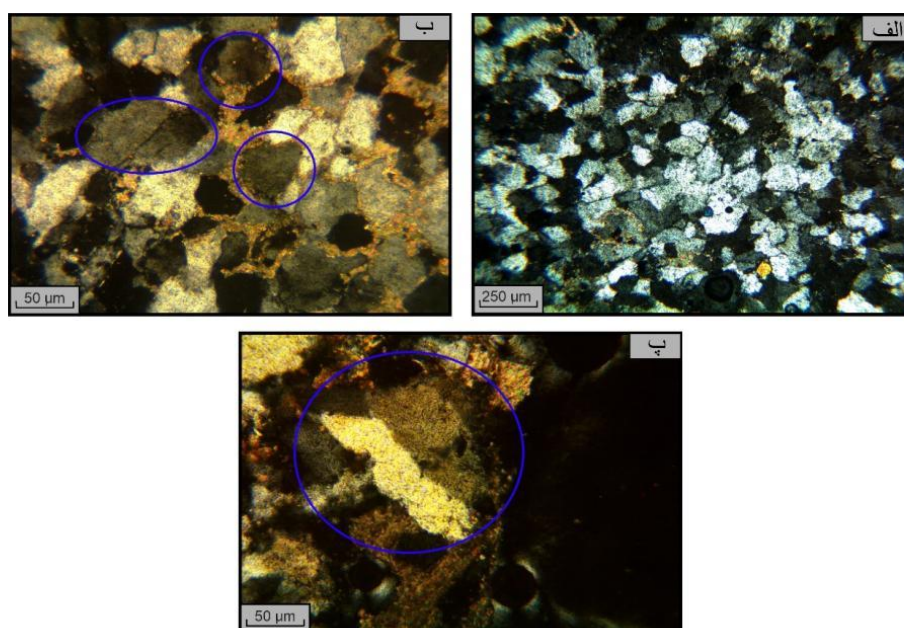
ماسه سنگ‌ها بیشتر دانه‌ریز و به ندرت دانه‌متوسط هستند. بدلیل نبود زمینه رسی، بیشتر آنها نظر بافتی بالغ تا ابربالغ هستند. کوارتز به عنوان فراوان‌ترین دانه موجود در ماسه سنگ‌های سازند سیبزار بطور متوسط ۸۰ درصد از کل دانه‌ها را شامل می‌شود که بیشتر از نوع تک بلور و بسیار کم بسبلور است؛ از این رو آنها از نظر بلوغ کانی‌شناسی بیشتر ابربالغ هستند (شکل ۴). کوارتزهای تک بلوری اغلب دارای خاموشی مستقیم و قطر متوسط ۸۰ تا ۲۰۰ میکرون هستند. فلدسپات‌ها به عنوان دومین دانه فراون در ماسه سنگ‌های سازند سیبزار بطور متوسط دارای کمتر از ۵ درصد فراوانی و دراندازه‌ی ۱۲۰ میکرون هستند، فلدسپات‌های موجود در ماسه سنگ‌های سازند سیبزار شامل پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم‌دار (ارتوکلاز) هستند (شکل‌های ۵ الف،ب). خرده سنگ تنها در سه نمونه از ماسه سنگ‌های سازند سیبزار دیده شد و به صورت کلی خرده

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]

سنگ‌های آهکی (دولومیتی) هستند (شکل‌های ۵ پ-ت). کانی‌های فرعی بسیار کم و به طور میانگین ۲ درصد از کل نمونه‌ها بوده و شامل پیریت و اکسید آهن، و کمی میکا(مسکوویت) و زیرکن (کم تر از ۰،۱ درصد از کل دانه‌ها) هستند (شکل ۶).

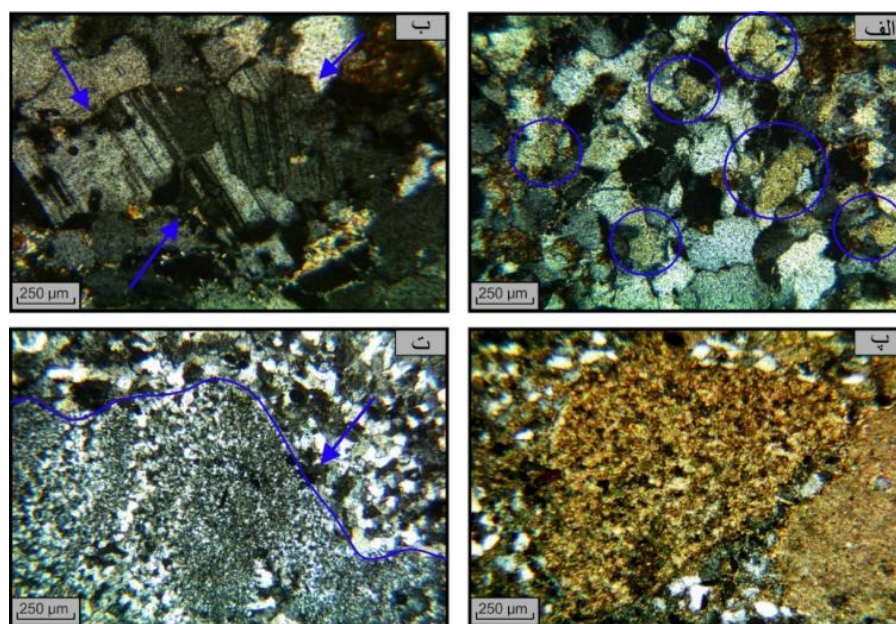
جدول ۱ نتایج بررسی مودال ماسه سنگ‌های سازند سیبزار به روش گزی- دیکینسون [۱۸، ۱۹] بر حسب درصد (Q non.: کوارتز تک‌بلور با خاموشی موجی، Q un.: کوارتز تک‌بلور با خاموشی مستقیم، Qp2-3: کوارتز چندبلور دارای دو و سبلور؛ Qp>3: کوارتز بسبلور با بیش از سه بلور، K: اورتوکلاز، P: پلاژیوکلاز، Ls.: خرده سنگ رسوبی، Py.: پیریت و سایر اکسیدهای آهن، Mica: میکا و Zir.: زیرکن)

نمونه	Q non.	Q un.	Qp2-3	Qp>3	K	P	Ls.	Py.	Mica	Zir.	مجموع
۴	۹۱/۵	۱	۲	۱	۰	۳	۰	۰/۵	۱	۰	۱۰۰
۶	۹۲/۵	۰	۱	۲	۰	۴	۰	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۱۰۰
۸	۸۵	۱	۲/۵	۳	۰	۴	۰	۴	۰/۵	۰	۱۰۰
۱۰	۸۵	۲	۳	۶	۱	۲	۰	۱	۰	۰	۱۰۰
۱۳	۸۵	۱	۲	۵	۱	۵	۰	۲	۰	۰	۱۰۰
۱۵	۷۵	۳	۲	۱	۴	۵	۰	۷	۳	۰	۱۰۰
۱۸	۹۵	۱/۵	۰	۱	۲	۰	۰	۰/۲	۰	۰/۳	۱۰۰
۲۰	۹۲	۱	۲	۰	۳	۲	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
۲۵	۸۲	۵	۴	۱	۰	۴	۰	۰	۵	۰	۱۰۰
۲۷	۴۵	۵	۸	۲	۲	۱	۳۱	۰	۱	۰	۱۰۰
۲۷	۸۴/۵	۲	۱	۴	۶	۲	۰	۰/۵	۰	۰	۱۰۰
۳۳	۸۷	۲	۱	۲	۳	۴	۰	۱	۰	۰	۱۰۰
۳۴	۸۷	۳	۰	۷/۵	۰	۲	۰	۰/۵	۰	۰	۱۰۰
۳۵	۸۰	۳	۲	۱۰	۲	۳	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
۳۷	۷۶	۸	۰	۱	۳	۹	۰	۰/۵	۲/۵	۰	۱۰۰
۳۸	۸۸	۲	۰	۶	۱	۳	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
۳۹	۸۳	۱۲	۰	۱	۱	۳	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
۴۰	۷۷	۱۵	۰	۱	۲/۵	۴	۰	۰/۵	۰	۰	۱۰۰
۴۱	۸۷	۳	۵	۰	۲	۲	۰	۰	۱	۰	۱۰۰
۶۹	۳۵	۵	۰	۰	۵	۰	۵۵	۰	۰	۰	۱۰۰
۷۰	۵۸/۷	۱۲	۸	۱	۹	۱	۱۰	۰/۳	۰	۰	۱۰۰

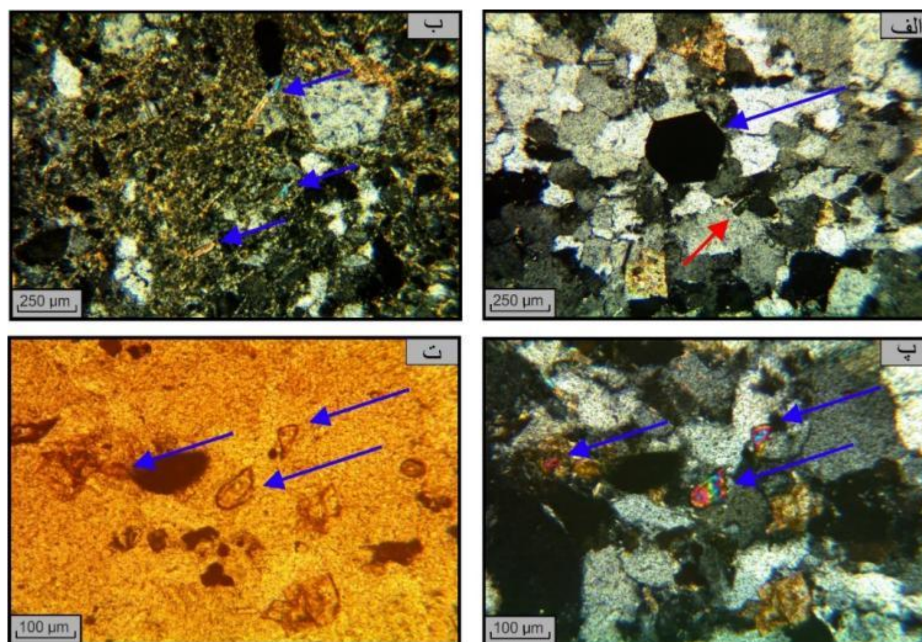


شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از انواع کوارتزهای شناسایی شده در ماسه سنگ‌های (کوارتز آرنایتی) سازند سیبزار: الف) کوارتز تک بلور با خاموشی مستقیم، ب) کوارتزهای تک بلور با خاموشی موجی پ) کوارتزهای بسبلور.

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپی اجزای ماسه سنگ‌های سازند سیبزار: الف) فلدسپات‌های پتاسیم دار (ارتوکلاز) در حال دگرسانی به کانی‌های رسی (نیمه آرکوز)، ب) کانی پلاژیوکلاز در نیمه آرکوزها، پ) خرده سنگ‌های رسوبی از نوع دولومیت در ماسه سنگ خرده سنگی ت) چرت ماسه سنگ خرده سنگی.



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی اجزای ماسه سنگ‌های سازند سیبزار: الف) پیریت، ب) مسکوویت، پ وت) کانی زیرکن ب ترتیب پ) در نور قطبیده متقاطع (XPL) و نور قطبیده صفحه ای (PPL).

از نظر اکسیدهای اصلی، نمونه‌های سازند سیبزار به طور میانگین دارای ۷۷٫۸ درصد وزنی SiO_2، ۸٫۳ درصد وزنی Al_2O_3، ۲٫۳۶ درصد وزنی Fe_2O_3، ۱٫۸ درصد وزنی CaO، ۱٫۶۵ درصد وزنی MgO، ۰٫۲۷ درصد وزنی Na_2O، ۳٫۳ درصد وزنی K_2O، ۰٫۶۳ درصد وزنی TiO_2، ۰٫۰۷ درصد وزنی MnO و ۰٫۱۲ درصد وزنی P_2O_5 هستند (جدول ۲). مقادیر عناصر فرعی در این نمونه‌ها به طور میانگین ۳۹۰ گرم در تن استرانسیوم، ۵۴۳ گرم در تن باریم، ۵۱ گرم در تن کبالت،

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]

۲۴۰ گرم در تن کروم، ۱۱۶۸ گرم در تن مس، ۲ گرم در تن نیکل، ۲۱۴ گرم در تن استرانسیوم، ۱۰۷ گرم در تن وانادیم، ۹۷۳ گرم در تن روی، ۳۵۰ گرم در تن زیرکنیوم، ۵۰ گرم در تن سریوم، ۳۶ گرم در تن لانتانیوم و ۸۸ گرم در تن سرب هستند (جدول ۳). مقدار افت گرمایی (L.O.I) در این نمونه‌ها به طور میانگین ۳/۲ درصد وزنی از جرم نمونه طی طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس بوده است.

بحث و بررسی

زمین شیمی اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی

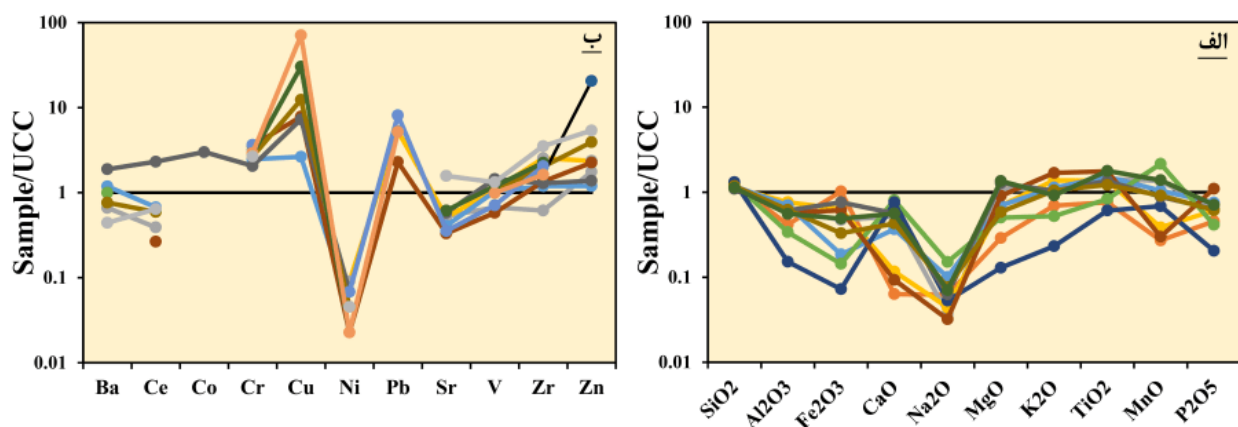
بررسی پراکندگی اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی و مقایسه آنها با مقادیر پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) [۲۰] و همچنین رسم آنها نسبت به هم، اطلاعات مفیدی از سنگ خاستگاه (سنگ‌شناسی، هوازدگی شیمیایی و آب و هوا) و جایگاه زمین-ساختی برای ماسه سنگ‌های سازند سیبزار فراهم می‌نماید (شکل ۷).

جدول ۲ مقادیر اکسیدهای اصلی (برحسب درصد وزنی) در نمونه‌های ماسه سنگ سازند سیبزار بر اساس آنالیز XRF.

نمونه	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5	LOI
۴	۸۳/۱	۵/۳	۰/۸	۳/۴	۱/۱	۰/۶	۱/۸	۰/۴	۰/۲	۰/۰۹	۳/۳
۶	۷۳/۸	۹/۶	۲/۴	۲/۲	۲/۴	۰/۱	۳/۶	۰/۷	۰/۱	۰/۱	۴/۴
۱۰	۷۷/۴	۱۰/۹	۰/۹	۱/۵	۱/۵	۰/۴	۳/۸	۰/۸	۰/۱	۰/۱	۲/۲
۱۵	۸۲/۴	۶/۵	۵/۱	۰/۳	۰/۶	۰/۲	۲/۶	۰/۴	۰/۰۱	۰/۰۹	۱/۹
۲۰	۷۴/۴	۸/۷	۲/۵	۲/۴	۲/۹	۰/۳	۳/۱	۰/۹	۰/۱	۰/۱	۴/۶
۲۵	۷۶/۳	۸/۹	۳/۱	۰/۴	۱/۹	۰/۱	۵/۷	۰/۹	۰/۰۲	۰/۲	۲/۴
۳۳	۷۴/۲	۱۱/۹	۳/۲	۰/۵	۱/۵	۰/۲	۴/۷	۰/۷	۰/۰۲	۰/۱	۲/۹
۳۵	۷۷/۹	۹/۷	۱/۶	۱/۸	۱/۳	۰/۳	۳/۶	۰/۶	۰/۰۶	۰/۱	۲/۸
۳۸	۸۶/۶	۲/۴	۰/۴	۳/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۸	۰/۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۳/۳
۴۰	۷۲/۲	۹/۵	۳/۸	۲/۴	۲/۸	۰/۲	۳/۵	۰/۷	۰/۰۶	۰/۱	۴/۵

جدول ۳ مقادیر عناصر اصلی (برحسب گرم در تن) در نمونه‌های ماسه سنگ سازند سیبزار بر اساس طیف‌سنجی XRF (N: مقادیر غیرقابل تشخیص).

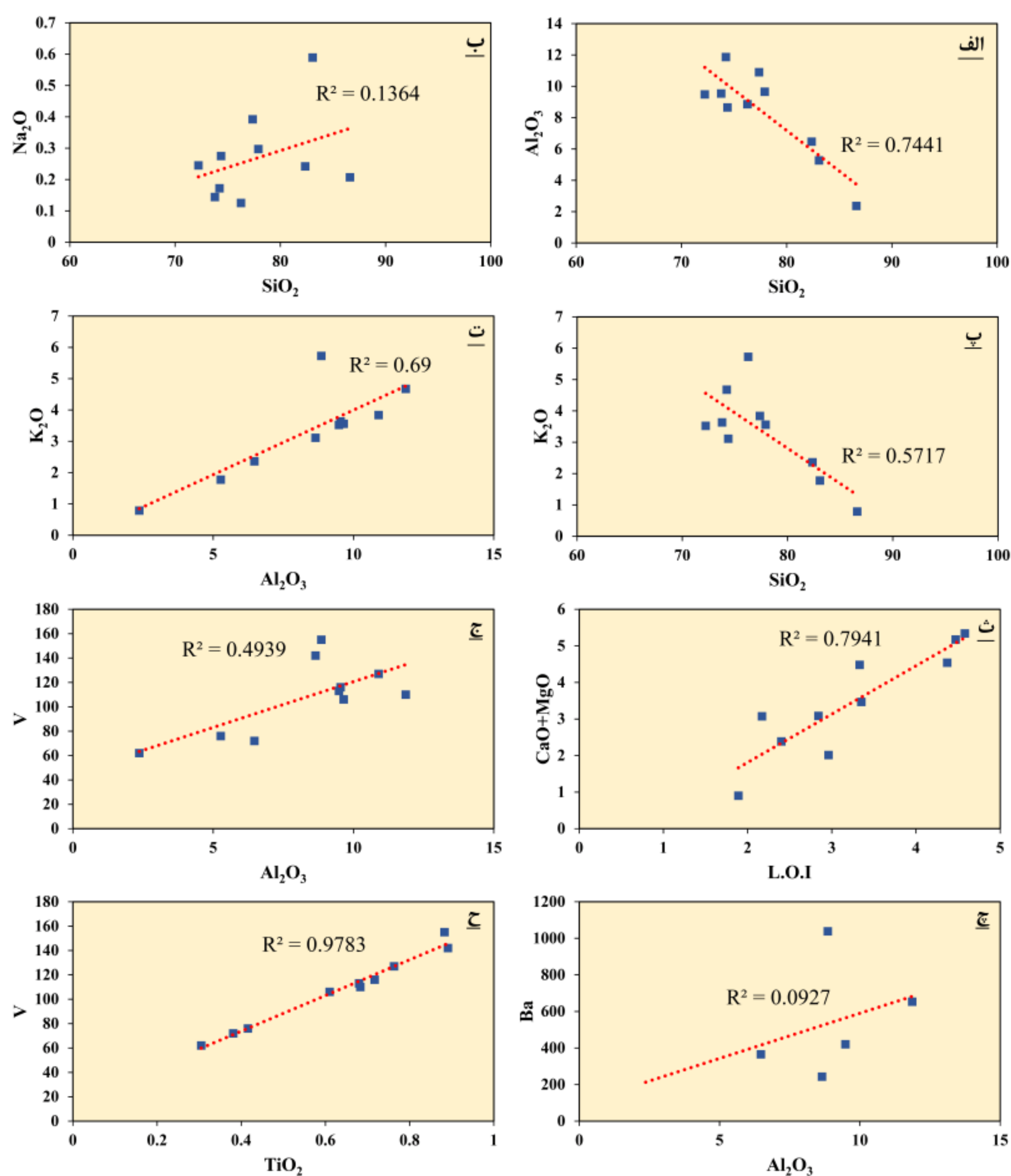
نمونه	S	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Sr	V	Zn	Zr	Ce	La	Pb
۴	۴۴۶	N	N	۳۱۰	۷۶۷۲	۳	۱۲۴	۷۶	۶۳۳۶	۳۸۹	۴۵	۲۵	۱۳۸
۶	۵۶	N	N	۱۸۷	۱۳۲	۴	۱۷۹	۱۱۶	۱۶۸	۴۸۲	۲۵	N	۹۰
۱۰	۱۲۶	N	N	۲۴۳	۷۵۸	۱	۲۱۶	۱۲۷	۶۳۵	۴۲۷	۵۸	۱۹	N
۱۵	۵۳۷	۳۶۵	N	۲۶۹	۱۳۸	۲	۱۸۵	۷۲	۱۲۵	۱۱۷	۲۵	۲۶	N
۲۰	۱۲۵۲	۲۴۳	N	۲۲۷	۴۵۴	۲	۵۵۱	۱۴۲	۳۸۲	۶۷۰	۴۱	۳۶	N
۲۵	N	۱۰۳۸	۵۱	۱۷۵	۱۸۲	۳	۲۰۳	۱۵۵	۹۸	۲۴۵	۱۴۸	۹۸	N
۳۳	۳۵۱	۶۵۳	N	۲۱۰	۶۶	۲	۱۴۳	۱۱۰	۸۵	۲۲۷	۴۳	۴۱	N
۳۵	۲۴۰	N	N	۲۴۸	۱۷۷۴	۱	N	۱۰۶	۱۴۶۲	۳۰۹	۶۲	۳۹	۸۸
۳۸	۳۹	N	N	۳۰۳	۱۹۶	۱	۱۱۶	۶۲	۱۶۰	۲۵۷	۱۷	۱۴	۳۹
۴۰	۴۶۴	۴۲۰	N	۲۲۷	۳۰۹	۲	N	۱۱۳	۲۷۹	۳۸۴	۳۸	۳۰	N



شکل ۷ مقادیر بهنجار شده به روش تیلور و مک لنن [۲۰] الف) اکسیدهای اصلی و ب). عناصر فرعی.

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]

این ماسه سنگ‌ها از نظر مقادیر K_2O، TiO_2، MnO، SiO_2 تقریبا شبیه پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) و از سایر اکسیدهای اصلی چون Fe_2O_3، Al_2O_3، CaO، Na_2O، MgO و P_2O_5 در مقایسه با UCC دچار تهی شدگی هستند (شکل ۷ الف). این شباهت و تهی‌شدگی در ارتباط مستقیم با کانی-شناسی ماسه سنگ‌های مورد بررسی است. فراوانی کوارتزها نسبت به مقادیر کم فلدسپارها، نبود خرده سنگ و ماهیت کلی آذرین لایه‌ی-آواری این نمونه‌ها باعث گردیده است تا از برخی مقادیر Fe_2O_3 ، Al_2O_3، CaO، Na_2O و MgO درجه‌های مختلفی از تهی‌شدگی نشان دهند. اکسید آذرین سیل (SiO_2) یک شاخص زمین‌شیمیایی مهم و نشانگر کوارتز در ناحیه خاستگاه است. روند تغییرات SiO_2 با اکسیدهایی چون Al_2O_3 و K_2O منفی بوده و نسبت به Na_2O مثبت است (شکل‌های ۸ الف، ب، پ). یکی از شاخص‌های زمین‌شیمیایی که در مقایسه رسوب های آواری استفاده می‌گردد، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) به عنوان یک اکسید غیر متحرک است. این اکسید در برابر هوازدگی، درونزایی و دگرگونی رسوب‌ها مقاوم است [۲۱]. روند تغییرات Al_2O_3 نسبت به K_2O منفی است (شکل ۸ ت).



شکل ۸ مقادیر اکسیدهای اصلی (برحسب درصد وزنی) و عناصر فرعی (برحسب گرم در تن) نسبت به هم: الف) Al2O3 نسبت به SiO2 ب) Na2O نسبت به SiO2 پ) K2O نسبت به SiO2 ت) K2O نسبت به Al2O3 ث) CaO+MgO نسبت به L.O.I ج) V نسبت به Al2O3 چ) Ba نسبت به Al2O3 ح) V نسبت به TiO2

روند منفی تغییرات SiO_2 و Al_2O_3 در مقابل هم، مقادیر به نسبت بالای SiO_2/Al_2O_3 و تهی شدگی از Al_2O_3 نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی نمایانگر فراوانی ذرات کوارتز نسبت به فلدسپارها و سایر کانی‌های آلومنیوم آذرین لایهیکات (کانی‌های رسی) در نمونه‌ها هستند [۲۳،۲۲]. مقدار بالای نسبت K_2O به Na_2O ناشی از حضور کانی‌های پتاسیم‌دار چون فلدسپات پتاسیم‌دار و انواع میکاست [۲۴].

تهی‌شدگی از CaO و MgO (شکل ۸ ث)، شباهت مقادیر این دو اکسید در نمونه‌ها، روند کاملا منفی مجموع این دو اکسید نسبت به L.O.I و همچنین نتایج سنگ‌نگاری از جمله شواهدی هستند که براساس آنها، مقادیر این اکسیدها در ارتباط با کانی‌های کربناتی چون دولومیت و کلسیت به صورت سیمان در نمونه‌ها هستند؛ خاستگاه این دو اکسید می‌تواند سیال‌های درونزادی و سازندی ناشی از اثر لایه‌های دولومیتی باشد [۲۶،۲۵]. مقادیر Fe_2O_3 نیز در ارتباط با حضور اکسیدهای آهن و پیریت است که در محیط نهشته شده‌اند [۲۴]. مقادیر TiO_2 به نسبت کم می‌تواند ناشی از تشکیل آنها از سنگ‌های حدواسط باشد [۲۳]. تیتانیوم در سنگ‌های آذرین در اصل به صورت ایلمنیت حضور دارد و می‌تواند جایگزین Al در الیوین و دیوپسید شود [۲۷].

عناصر فرعی همچون Ce, Ni, V, Zr و Co در سنگ‌های آواری در اثر هوازدگی، درونزایی و در دگرگونی‌های متوسط غیر قابل تغییر هستند و اغلب حفظ می‌گردند. بنابراین عناصر فرعی می‌توانند برای تشخیص موقعیت زمین‌ساختی و خاستگاه مفید باشند. خاستگاه سنگ‌های رسوبی را می‌توان با استفاده از نسبت‌های عناصر فرعی تعیین کرد، زیرا این عناصر کمتر دچار فرآیندهای پیش و پس از رسوبگذاری می‌شوند [۲۹،۲۸]. بدون در نظرگرفتن میزان دگرسانی، عناصر فرعی ابزاری مناسب برای توصیف موقعیت زمین‌ساختی رسوب‌ها و سنگ‌های رسوبی هستند [۳۰]. مقادیر عناصر فرعی در بیشتر نمونه‌های ماسه سنگ‌های سیبزار به نسبت نزدیک به مقادیر پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) است (شکل ۷ ب). غنی‌شدگی‌های عناصری چون Cu, Zn, Pb می‌تواند در اثر نفوذ آذرین لایه بازالتی میانی و اثر احتمالی سیال‌های گرمابی باشد. انطباق مثبت بین Ba و V همراه با Al_2O_3 (شکل‌های ۸ ج، چ)، نشان دهنده احتمال وجود کانی‌های رسی چون ایلیت در این نمونه‌هاست [۲۱]. مقادیراسترانسیوم می‌تواند در ارتباط با کانی‌های کلسیم-دار باشد. غلظت بالای Ba و Sr نسبت به غلظت‌های به نسبت پایین عناصری چون Ni، Co، Cr، V نشانگر اثر بیشتر سنگ خاستگاه‌های فلسیک نسبت به مافیک است [۲۱]. نسبت‌های Ba به Co بالا می‌تواند نشان‌دهنده سنگ خاستگاه گرانیتی هوازده باشند [۲۰]. مقادیر Zr بالا ناشی از فراوانی کانی زیرکن به صورت آواری در نمونه‌هاست. ارتباط مثبت بین وانادیوم و TiO_2 (شکل ۸ ح) بیانگر خاستگاه کانی رسی یا اکسیدی برای این عنصر است [۲۳].

رده‌بندی سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی

یافتن رابطه‌ای نسبتا ساده و منطقی بین کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی در سنگ‌های آواری همیشه دشوار بوده است. رده-بندی‌های زمین‌شیمیایی ممکن است از رده‌بندی‌های رایج چون فولک [۳۱] که بر پایه فراوانی کوارتز، فلدسپار و خرده سنگ ارائه شده است، پیروی نکنند. رده‌بندی زمین‌شیمیایی می‌تواند میزان بلوغ کانی شناسی را تعیین نماید [۲۲]. رایج ترین معیار در تعیین بلوغ کانی شناسی مقدار SiO_2 و نسبت SiO_2/Al_2O_3 بوده که نمایانگر فراوانی کوارتز و پس از آن فلدسپار است [۳۲]. این مقدار طی هوازدگی، حمل و نقل و چرخه دوباره در اثر افزایش کوارتز نسبت به اجزای ناپایدار چون فلدسپات و خرده‌های سنگی، افزایش می‌یابد و نسبت SiO_2/Al_2O_3 بیشتر از ۵-۶ در سنگ‌های رسوبی نشان‌دهنده بلوغ رسوبی بالاست [۳۳]. این نسبت در نمونه‌های مورد بررسی بالا (۷-۳۶ با میانگین ۱۲) بوده که نشانگر بلوغ ترکیبی بالاست. مقدار اکسید آذرین سیل در نمونه‌های مورد بررسی به طور میانگین ۷۸ درصد است. میزان آذرین سیل بالا در این رسوب‌ها در ارتباط با فراوانی بسیار کانی کوارتز است. همچنین نمودار SiO_2 نسبت به Al_2O_3 یک رابطه منفی را نشان می-دهد که بیانگر همراه نبودن SiO_2 با Al_2O_3 است که می‌تواند ناشی از نبود یا حضور کم کانی‌های فیلوآذرین لایهیکات باشد. کم بودن فراوانی فلدسپارها می‌تواند در اثر بالا بودن رطوبت در محیط یا حمل و نقل مکانیکی باشد [۳۴]. هوازدگی شیمیایی شدید سنگ‌های مادر، مسافت حمل و نقل زیاد و انرژی محیطی بالا عواملی هستند که موجب مقادیر بالای کوارتز در برابر مقادیر کم فلدسپات می‌شوند [۳۰]. همچنین نسبت بالای دانه‌های کوارتز تک بلور به بسبلور نیز می‌تواند ناشی از حمل و نقل طولانی و انرژی بالا از ناحیه خاستگاه یا در اثر شرایط انرژی در محیط‌های پرانرژی چون محیط ساحلی باشد. وجود

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]

زیرکن با گردشدگی خوب می‌تواند ناشی از چرخه دوباره و اثر حمل و نقل طولانی باشد [۳۵].

مقدار فلزهای قلیایی (Na_2O+K_2O) بعنوان مقیاسی از مقدار فلدسپار موجود در رسوب‌ها استفاده می‌گردد. پتی‌جان و همکاران [۹]، با استفاده از شاخص‌های بلوغ شیمیایی که شامل $\log(Na_2O/K_2O)$ نسبت به $\log(Si_2O/Al_2O_3)$ است، رسوب-ها را رده‌بندی کردند. بر این اساس، سنگ‌ها بیشتر از نوع نیمه آرکوز، آرکوز و کوراتز آرنایت هستند که با داده‌های سنگ-شناسی و رده بندی فولک [۳۱] تقریبا همخوانی دارد (شکل ۹).

ترکیب سنگ خاستگاه

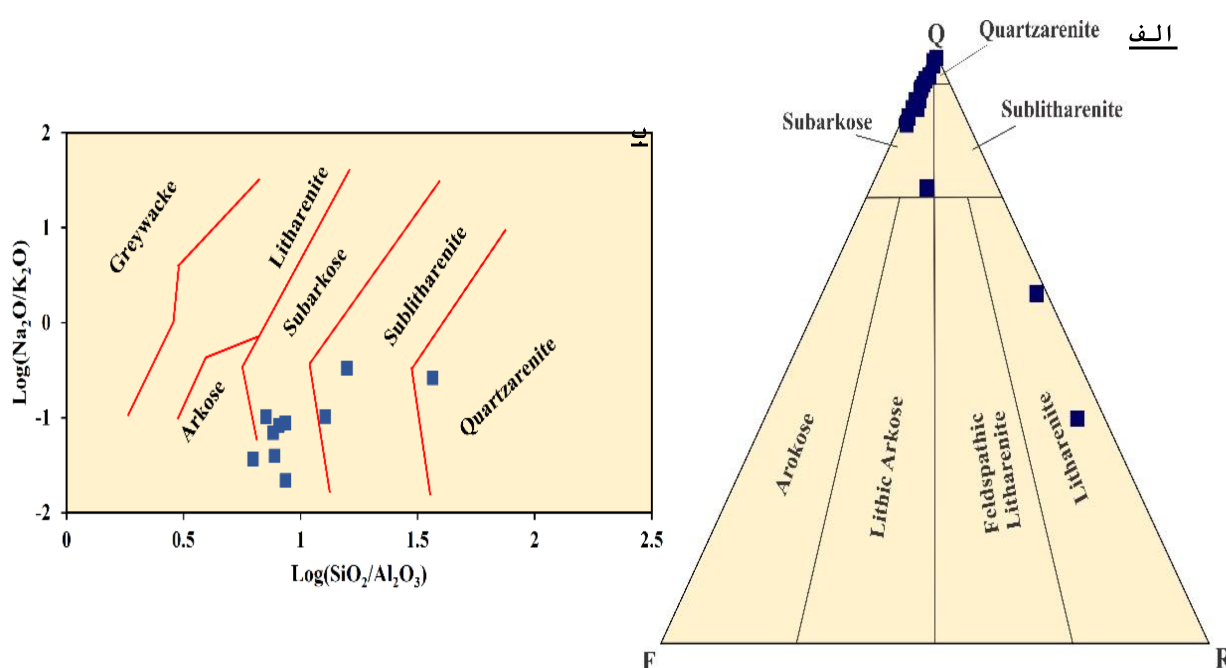
ترکیب سنگ خاستگاه با توجه به ترکیب کانی‌شناسی و زمین-شیمیایی تعیین می‌شود [۲۳]. ترکیب شیمیایی رسوب‌ها وابسته به فرآیندهای پیچیده‌ای چون: هوازدگی، حمل و نقل، درونزایی، جورشدگی و تمرکز کانی‌های سنگین بوده که ممکن است ترکیب‌های به ارث رسیده از ناحیه خاستگاه را تغییر دهند [۳۶،۲۸].

روسر و کورش [۳۷]، برای تفکیک رسوب‌های با خاستگاه اولیه شامل سنگ‌های آذرین مافیک، حدواسط یا فلسیک و یا رسوب‌های دارای کوارتز، نمودار تفکیک‌کننده تابعی را پیشنهاد نموده‌اند. در این تابع، اکسیدها به صورت خام محاسبه می‌شوند که در آنها Al_2O_3/SiO_2، K_2O/Na_2O و Fe_2O_3+MgO شاخص‌های بسیار مفیدی هستند. توابع تفکیک مورد استفاده در این نمودار به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$F1= 1.733TiO_2 + 0.607Al_2O_3 + 0.76Fe_2O_3 – 1.5MgO + 0.616CaO + 0.509Na_2O – 1.224K_2O – 9.09$$

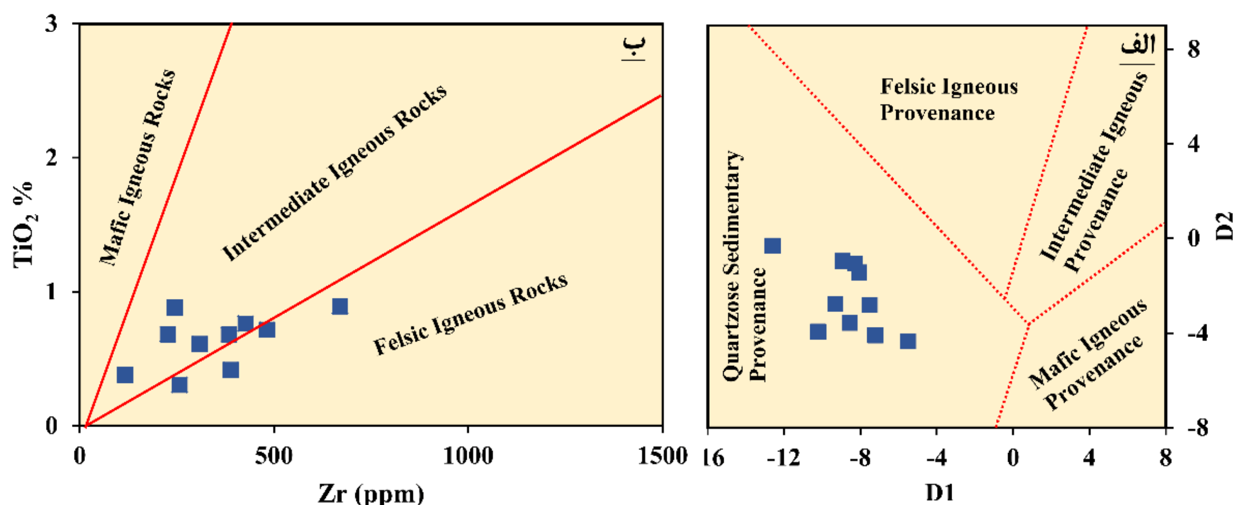
$$F2= 2: 0.445TiO_2 + 0.07Al_2O_3 - 0.25Fe_2O_3 - 1.142MgO+ 0.438CaO+ 1.475Na_2O + 1.426K_2O - 6.81$$

بر این اساس، ماسه سنگ‌های سازند سیبزار دارای خاستگاه‌های رسوبی کوارتزیتی هستند (شکل ۱۰ الف). با توجه به روند مثبت TiO_2 نسبت به Zr (شکل ۱۰ ب) و بر پایه مقادیر این اکسیدها و عناصر در نمونه‌ها، آنها از سنگ خاستگاه‌های آذرین حدواسط تا اسیدی تشکیل شده اند [۳۸]. با توجه به نسبت‌های K_2O/Na_2O و SiO_2/Al_2O_3، این سنگ خاستگاه باید دارای مقادیر متوسط تا بالا از کانی کوارتز بوده باشند.



شکل ۹ رده بندی ماسه سنگ‌های سازند سیبزار الف) بر پایه سنگ‌نگاری (QRF) که بر این اساس، بیشتر از نوع کوارتزآرنایت تا نیمه آرکوز هستند [۱۱] و ب) بر اساس نسبت‌های زمین شیمیایی که بر این اساس نیز بیشتر نمونه‌ها از نوع نیمه آرکوز و کوارتز آرنایت هستند [۹].

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]



شکل ۱۰ الف) نمودارهای تعیین سنگ خاستگاه ماسه سنگ‌های سازند سیبزار بر اساس توابع تفکیک در نمونه‌ها که نشانگر خاستگاه‌های رسوبی کوارتزی است [۳۷] و ب) نمودار TiO2 نسبت به Zr، که بر این اساس، سنگ‌ها بیشتر حدواسط تا گاهی اسیدی هستند [۳۸].

هوازدگی و آب و هوای ناحیه خاستگاه

تجزیه‌های زمین‌شیمیایی عناصر اصلی رسوب‌ها روش مناسبی برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی در رسوب‌هایی که به شدت دچار درونزایی و دگرگونی یا سایر فرآیندهای دگرسانی و هوازدگی نشده‌اند، است [۲۸]. طی هوازدگی، دگرسانی سنگ‌های‌آواری باعث تخلیه عناصر قلیایی خاکی و افزایش نسبی مقدار Al_2O_3 می‌شود. شاخص‌های هوازدگی سنگ‌های رسوبی اطلاعات مفیدی در مورد تاریخچه زمین‌ساختی و شرایط آب و هوایی ناحیه خاستگاه می‌دهد. درجه هوازدگی شیمیایی ممکن است در اثر کاهش فعالیت‌های زمین‌ساختی و یا تغییرات آب و هوایی (شرایط گرم و مرطوب) افزایش یابد [۳۹].

تاریخچه هوازدگی سنگ‌های رسوبی اغلب با محاسبه نسبت اکسیدهای متحرک Na_2O، K_2O و CaO نسبت به اکسید غیرمتحرک Al_2O_3 برآورد می‌شود [۴۰]، در این رابطه، شاخص شیمیایی دگرسانی (CIA) است که توسط نزبیت و یانگ [۴۰]، پیشنهاد گردیده است بیشترین کاربرد را دارد. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$CIA= 100*[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO^*+Na_2O+K_2O)] \quad (۳)$$

در این رابطه CaO اکسید کلسیم حاضر در اجزای آذرین سیلیکاتی رسوب هاست.

مقدار این شاخص در نمونه‌های سنگی مورد بررسی ۵۲ تا ۷۵ (میانگین ۶۵) است. مقدار CIA پایین نشان‌دهنده دگرسانی متوسط رو به بالا و گویای شرایط اقلیمی گرم و نیمه خشک تا مرطوب است [۴۰]. در چنین شرایطی، کاتیون‌های ناپایدار محیطی چون پتاسیم، سدیم و کلسیم در حال حذف از محیط رسوبگذاری هستند. نمودار A-CN-K [۴۱] نشانگر هوازدگی متوسط از گرانیت برای فلدسپارها (پلاژیوکلاز) تا حد ایلیت است (شکل ۱۱ الف).

براساس شاخص دگرسانی پلاژیوکلاز [۴۲] که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$PIA= [(Al_2O_3-K_2O)/(Al_2O_3+CaO+Na_2O-K_2O)] \quad (۴)$$

ماسه سنگ‌های سازند سیبزار با شاخص میانگین ۷۱، دارای درجه‌های متوسطی از دگرسانی پلاژیوکلازها به کانی‌های رسی هستند.

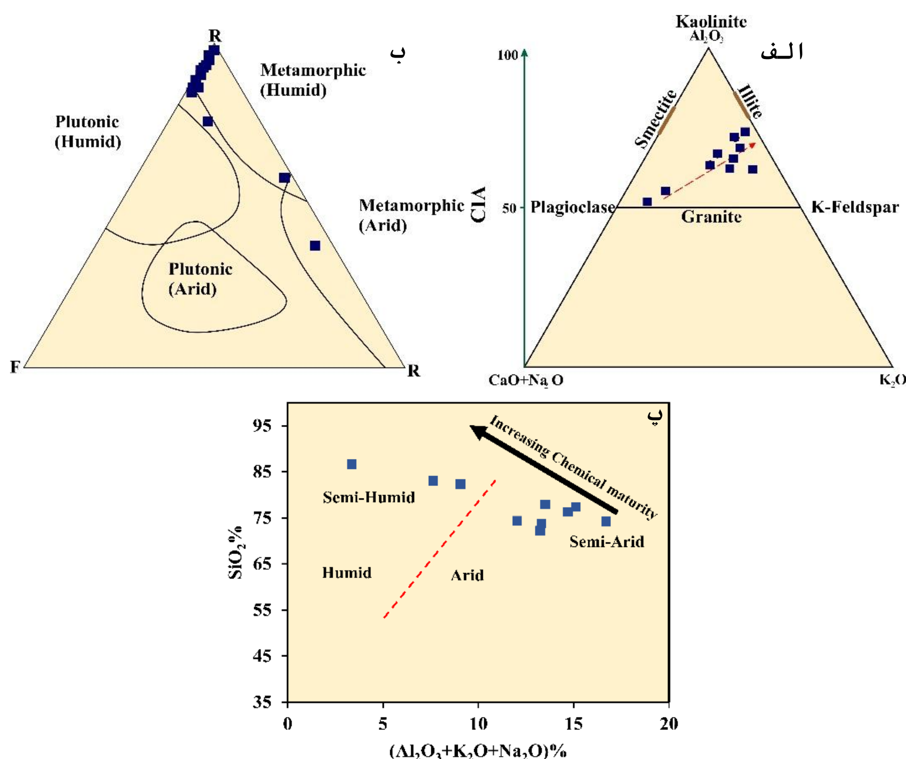
بر پایه اکسیدهای اصلی و نمودار SiO_2 نسبت به $Al_2O_3+K_2O+Na_2O$ (شکل ۱۱ پ) [۴۳]، برای ماسه سنگ‌های سازند سیبزار شرایط آب و هوایی نیمه خشک تا نیمه مرطوب در ناحیه خاستگاه به دست آمد. این در حالی است که بر اساس نتایج سنگ‌نگاری و نمودار ساتنر و همکاران [۴۴] آب و هوای ناحیه خاستگاه مرطوب تعیین گردید (شکل ۱۱ ب).

موقعیت زمین ساختی

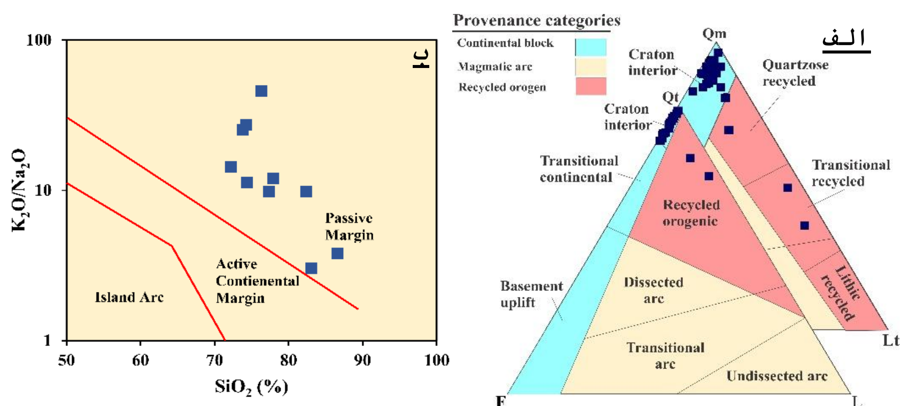
بسیاری از پژوهشگران ترکیب رسوب‌ها را بر پایه خاستگاه و موقعیت زمین‌ساختی تعیین کرده و نتایج بررسی‌های میکروسکوپی را در نمودارهای سه تایی QtFL و QmFLt رسم می‌کنند. نمودار QmFLt همه اجزای خرده سنگی همراه با کوارتز بسبلوری را با هم بعنوان Lt در نظر گرفته و سنگ

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]

خاستگاه را مشخص می‌نماید [۴۵]. نمونه‌های مورد بررسی از نوع ماسه سنگ‌های با مقدار کوارتز فراوان و مقادیر به نسبت پایین از فلدسپات‌ها هستند. این رسوب‌ها با توجه به نمودارهای دیکنسون و همکاران [۴۶] و دیکنسون و سوزک [۴۷] در حوضه‌های درون کراتونی در قطعه‌های قاره‌ای تشکیل شده‌اند (شکل ۱۲). در این حوضه‌ها با توجه به زمین‌ساخت غیرفعال و ناهمواری کم، رسوب‌ها مسافت زیادی را طی نموده‌اند و فرآیندهای حمل و نقل و انرژی محیط بیشتر بر آنها اثر داشته است.



شکل ۱۱ الف) نمودار A-CN-K که نشانگر روند تجزیه شیمیایی متوسط از فلدسپارها (پلاژیوکلازها) تا نزدیکی کانی‌های رسی است [۴۱]. ب) نمودار بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری که گویای آب و هوای مرطوب در ناحیه خاستگاه است. [۴۴]. پ) نمودار SiO2 نسبت به Al2O3+K2O+Na2O که نمایانگر آب و هوای نیمه خشک تا نیمه مرطوب در ناحیه خاستگاه است [۴۳].



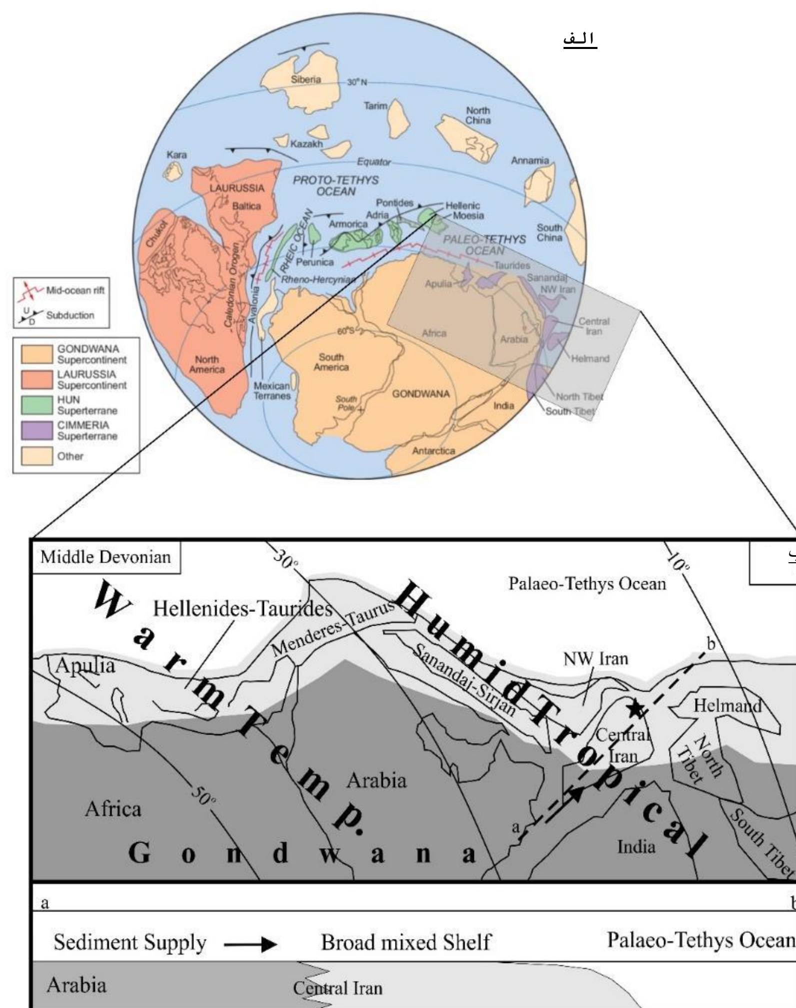
شکل ۱۲ موقعیت زمین‌ساختی ماسه سنگ‌های سیبزار که بر اساس آن الف) نمودار QmFLt یک کراتون پایدار درون قاره‌ای است [۴۷]. ب) نمودار QtFL که بر پایه آن نیز موقعیت زمین‌ساختی آنها یک کراتون پایدار درون قاره‌ای است [۴۶]. پ) نمودار K2O/Na2O نسبت به SiO2 که نشان دهنده موقعیت زمین‌ساختی کرانه غیرفعال قاره‌ای برای این رسوب‌هاست [۳۷].

از مقادیر اکسیدهای اصلی برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی سنگ‌های آواری استفاده می‌شود [۳]. بر اساس نسبت بسیار بالای K_2O به Na_2O و مقادیر بالای SiO_2، این رسوب‌ها می‌توانند در یک کرانه غیرفعال قاره‌ای تشکیل شده باشند (شکل ۱۲ پ) [۳۷].

جغرافیای دیرینه

نقشه‌های جغرافیای دیرینه در اردویسین پسین تا دونین پسین نشان می‌دهد که در شمال ابرقاره گندوانا و در کرانه‌ی اقیانوس پالئوتتیس بخش‌های شمال ورقه‌های عربستان و آفریقا یک فلات عریض و پایدار قاره‌ای را تشکیل داده‌اند [۴۸، ۴۹]. ورقه‌ی ایران در این زمان مجموعه‌ای از قطعه‌های کوچکتر بوده که همراه با چند قطعه دیگر با بخش‌هایی از قطعه قاره‌ای سیمرین طی تکامل پالئوتتیس و نئوتتیس قابل مقایسه است [۴۸]. از اردویسین پسین تا دونین پسین، فلات قاره‌ای ایران شامل ایران مرکزی، البرز و سنندج-سیرجان، دارای موقعیت گندوانایی بوده و در عرض‌های دیرینه ۱۵ تا ۳۰ درجه قرار داشته است (شکل ۱۳ الف). بررسی توالی‌های پالئوزوئیک در ایران نمایانگر محیط دریایی کم‌عمق و کرانه‌ی غیر فعال قاره‌ای برای رسوب‌ها بوده است. همچنین در این دوره، توالی‌های رسوبی بدون آثار فعالیت‌های ماگمایی و تغییر شکل بوده‌اند [۱۵].

در زمان دونین پیشین تا میانی، رسوب‌های ایران مرکزی دارای یک محیط ساحلی و دریایی کم عمق بوده اند [۱۵].



شکل ۱۳ الف) نقشه جغرافیای دیرینه و بازسازی شده از موقعیت زمین‌ساختی ورقه‌های مختلف زمین در زمان دونین اولیه تا میانی [۴۸]. ب) نقشه ترکیب شده جغرافیای دیرینه و آب و هوای دیرینه در زمان دونین میانی [۴۸،۴۹] (جایگاه سازند سیبزار در منطقه مورد بررسی با ستاره مشخص شده است).

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]

سازند سیبزار در دونین میانی توسط چند نیمرخ کربناتی کوچک در اثر نوسان‌های زودگذر سطح آب دریا ایجاد شده و رخساره‌های جزر و مدی برای این سازند ثبت گردیده است [۵۰،۲۶،۱۵]. این محیط ساحلی و دریایی کم عمق در سازند سیبزار در برش خرو با وجود دولومیت‌های جزر و مدی مشهود است [۲۶]. ماسه سنگ‌های سازند سیبزار در این منطقه، از آنجا که بیشتر از نوع کوارتز آرنایت تا نیمه آرکوزهای با مقادیر بالای کوارتز تک بلوری و مقادیر کم فلدسپات هستند، با شرایط جغرافیای دیرینه این منطقه در دونین میانی دارای خاستگاهی از نوع کرانه غیر فعال قاره‌ای بوده‌اند. همچنین با توجه به نقشه‌های آب و هوای دیرینه، واقع شدن رشته کوه بینالود که آن زمان بخشی از ایران مرکزی بوده است، در عرض جغرافیایی ۲۰ تا ۲۵ درجه جنوبی منجر به شرایط گرم (به احتمال بسیار نیمه مرطوب) شده است (شکل ۱۳ ب). همچنین گرم بودن کره زمین در دونین (مثال ابرقاره گندوانا دمایی حدود ۴۰ درجه سانتی گراد داشته است.) موجب شده است که این ماسه سنگ‌ها دارای مقادیر بسیار کمی فلدسپات باشند و این فلدسپات‌ها پیش از ته نشست در اثر شرایط آب و هوایی دیرینه طی حمل و نقل از بین رفته و دگرسان شده باشند [۵۱]. با توجه به نقشه‌های جغرافیای دیرینه چنین بنظر می‌رسد که منبع رسوب‌های آذرین سیلی آواری برای ماسه سنگ‌های سازند سیبزار از ورقه‌های عربستان و آفریقا بوده است و رسوب‌ها از جنوب و جنوب غرب به شمال و شمال شرق در کرانه پالئوتتیس منتقل گردیده‌اند. ایران مرکزی در این گستره‌ی زمانی، به ورقه عربستان متصل بوده است [۴۸].

برداشت

ماسه سنگ‌های سازند سیبزار با توجه به ویژگی‌های سنگ گاری بیشتر از نوع کوارتزآرنایت تا نیمه آرکوز هستند. از سویی با توجه به شاخص‌های بلوغ شیمیایی شامل $\log(Na_2O/K_2O)$ نسبت به $\log(Si_2O/Al_2O_3)$، نمونه‌ها بیشتر از نوع نیمه آرکوز، آرکوز و کوراتز آرنایت هستند. روند منفی SiO_2 و Al_2O_3 نسبت به هم و مقادیر نسبت به بالا SiO_2/Al_2O_3 نمایانگر فراوانی ذرات کوارتز نسبت به فلدسپارها هستند. نسبت بالای K_2O به Na_2O ناشی از حضور کانی‌های پتاسیم دار چون فلدسپات پتاسیم دار و انواع میکاست. تهی شدگی از CaO و MgO، روند کاملا منفی مجموع این دو اکسید نسبت به L.O.I و شواهد سنگ نگاری گویای کانی‌های کربناتی چون دولومیت و کلسیت به صورت سیمان در نمونه‌ها بوده که خاستگاه این دو اکسید هستند. مقدار Zr بالا ناشی از فراوانی کانی زیرکن به صورت آواری بوده و ارتباط مثبت بین وانادیوم و TiO_2 بیانگر خاستگاه کانی رسی برای این عنصر است. از نظر هوازدگی و آب و هوای دیرینه، این ماسه سنگ‌ها بر اساس شاخص‌های CIA و PIA دچار درجه‌های متوسطی از هوازدگی شیمیایی شده و در یک آب و هوای گرم و نیمه مرطوب/نیمه خشک بوده اند. سنگ خاستگاه این نمونه‌ها از نوع آذرین اسیدی تا حدواسط با کوارتز فراوان بوده است. خاستگاه رسوب ها برای ایجاد ماسه سنگ‌های سازند سیبزار براساس نقشه‌های جغرافیای دیرینه، صفحه عربی و آفریقایی بوده است. خاستگاه این ماسه سنگ‌ها از نوع رسوبی کوارتزی بوده که از نظر موقعیت زمین ساختی در حوضه‌های درون کراتونی و کرانه‌های غیرفعال قاره‌ای دارد، که این کاملا با شواهد سنگ نگاری و زمین‌شیمیایی و همچنین نقشه‌های جغرافیای دیرینه برای سازند سیبزار در دونین میانی همخوانی.

قدردانی

از دانشگاه فردوسی مشهد و نیز از داوران محترم برای بهبود کیفیت این مقاله سپاسگزاریم.

مراجع

[1] Jin Z., Li F., Cao J., Wang S., Yu J., *"Geochemistry of Daihai Lake sediments, Inner Mongolia, north China: Implications for provenance, sedimentary sorting and catchment weathering",* Geomorphology 80 (2006) 147–163.
[2] Garzanti E., Padoan M., Setti M., López-Galindo A., Villa I.M., *"Provenance versus weathering control on the composition of tropical river mud (southern Africa)",* Chemical Geology 366 (2014) 61-74.
[3] Bhatia M.R., *"Plate tectonics and geochemical composition of sandstones",* Journal of Geology 91 (1983) 611–627.
[4] Dickinson W.R., Beard L.S., Brakenridge G.R., Erjavec J.L., Ferguson R.C., Inman K.P., *"Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting",* Geological Society of America Bulletin 94 (1983) 222-35.
[5] Dickinson W.R., Suczek C.A., *"Plate tectonics and sandstone compositions",* American Association of Petroleum Geologist Bulletin 63 (1979) 2164-2182.
[6] Ocampo-Díaz Y.Z.E., Sosa-Ceballos G., Saucedo R., Macías J.L., Bolós X., Radilla-Albarrán U.A., Martínez-Paco M., Salinas-Ocampo U., Cisneros-Máximo G., *"Provenance and compositional variations of intra-caldera lake sediments at La Primavera, Jalisco, Western*

[18] Dickinson W.R., *"Interpreting detrital modes of greywacke and arkose",* Journal of Sedimentary Petrology 40 (1970) 695–707.
[19] Gazzi P., *"Le arenarie del flysch sopracretaceo dell'Appennino modenese; Correlazioni coni flysch di Monghidoro",* Mineral Petrology Acta 12 (1966) 69-97.
[20] Taylor S.R., McLennan S.M., *"The Continental Crust: Its Composition and Evolution",* Blackwell, Oxford (1985) 312.
[21] Adel I.M., Akarish B., Amr M., El-Gohary N., *"Petrography and geochemistry of Lower Paleozoic sandstones, East Sinai, Egypt: Implications for provenance and tectonic setting",* Journal of African Earth Sciences 52 (2008) 43-54.
[22] Das B.K., AL-Mikhlafi A.S., Kaur P., *"Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting",* Journal of Asian Earth Science 26 (2006) 649-668.
[23] Khanehbad M., Moussavi-Harami R., Mahboubi A., Najafi M., Mahmudy Gharaie M.H., *"Geochemistry of Carboniferous sandstones (Sardar Formation), East-Central Iran: Implication for provenance and tectonic setting",* Acta Geological Sinica 86(5) (2012) 1200-1210.
[24] Jafarzadeh M., Harami R.M., Amini A., Mahboubi A., Farzaneh F., *"Geochemical constraints on the provenance of Oligocene–Miocene siliciclastic deposits (Zivah Formation) of NW Iran: implications for the tectonic evolution of the Caucasus",* Arabian Journal of Geosciences, 7(10) (2014) 4245-4263.
[25] Abdi L., Rahimpour-Bonab H., Mirmohammad-Makki M., Probst J., Langeroudi S.R., *"Sedimentology, mineralogy, and geochemistry of the Late Quaternary Meyghan Playa sediments, NE Arak, Iran: palaeoclimate implications",* Arabian Journal of Geosciences 11(19) (2018) 1-18.
[26] Jamshidipour A., Khanehbad M., Moussavi-Harami R., Mahboubi A., *"Dolomitization models in the Sibzar Formation (Middle Devonian), Binalood Mountains (NE Iran): Based on the petrographic and geochemical evidence",* Journal of African Earth Sciences 176 (2021) 104124.
[27] Pandey S., Parcha S.K., *"Provenance, tectonic setting and source-area weathering of the lower Cambrian sediments of the Parahio valley in the Spiti basin, India",* Journal of Earth System Science 126(2) (2017) 1-16.
[28] McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N., *"Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics",* Geological Society of America, Special Paper 284 (1993) 21–40.
Mexico", Journal of South American Earth Sciences 110 (2021) 103335.
[7] Zirjanizadeh S., Nasiri Y., Forouzandeh S.K., Taghdisi Nikbakht S., Hafezi Moghaddas H., Zarei Darmian M.A., *"Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Kuhkamar Shale in the Roum section (South of Qayen): Application for Provenance and Tectonic setting (In Persian)",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 28(2) (2020) 445-460
[8] Nesbitt H.W., Young G.M., *"Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites",* Nature 299 (1982) 715–717.
[9] Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R., *"Sand and Sandstone",* (2nd Edition) Berlin7, Springer-Verlag (1987) 553.
[10] Armstrong-Altrin J.S., Botello A.V., Villanueva S.F., Soto L.A., *"Geochemistry of surface sediments from the northwestern Gulf of Mexico: implications for provenance and heavy metal contamination",* Geological Quarterly 63(3) (2019) 522-538.
[11] Flugel H.W., Ruttner A., *"Vorbericht uber palaontologisch-stratigraphische Untersuchungen im Palaozoikum von Ozbak-Kuh (NE-Iran)",* Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt 1 (1962) 146-150.
[12] Ruttner A.W., Nabavi M.H., Hajian J., *"Geology of the Shirgesht area (Tabas area, east Iran)",* Geological Survey and Mineral Exploration Publications, Reports, Iran 4 (1987) 133.
[13] Weddige K., *"Externally controlled late Paleozoic events of the Iran Plate",* Neues Jahrbuch für Geologie und Palontologie Abhandlungen 168(2-3) (1984) 278-286.
[14] Sharkovski M., Susov M., Krivyakin B., *"Geology of the Anarak area (central Iran). Explanatory text of the Anarak quadrangle map 1:250.000",* Geological Survey of Iran, Iran, V/O "Techno export" USSR Ministry of Geology, Reports, Moscow 19 (1984) 1-143.
[15] Wendt J., Kaufmann B., Belka Z., Farsan N., Karimi Bavandpur A., *"Devonian/Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and paleogeography of Iran. Part II. Southeastern Iran",* Acta Geologica Polonica 55(1) (2005) 31-97.
[16] Pourlatifi A., *"Geological Map of Torghabe (1:100000 Scale)",* Geological survey and mineral exploration publications, Iran (2000).
[17] Ghaemi F., Rahimi B., *"Thrust tectonics of the binalud mountains (In Persian)",* Iranian Journal of Geology 29(8) (2014) 3–20.

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.721]

consideration", Geochimica et Cosmochimica Acta 48 (1984) 1523-1534.

[41] Paikaray S., Banerjee S., Mukherji S., *"Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications on provenance, tectonics and paleoweathering",* Journal of Asian Earth Sciences 32 (2008) 34–48.

[42] Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M., *"Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance",* Journal of Geology 23 (1995) 921–924.

[43] Suttner L.J., Dutta P.K., *"Alluvial sandstone composition and palaeoclimate: framework mineralogy",* Journal of Sedimentary Petrology 56 (1986) 329–345.

[44] Suttner L.J., Basu A., Mack G.H., *"Climate and the origin of quartz arenites",* Journal of Sedimentary Petrology 51(4) (1981) 1235-1246.

[45] Ahmad A.H.M., Bhat G.M., *"Petrofacies, Provenance and diagenesis of the dhosa sandstone member (Chari Formation) at Ler, Kachchh sub-basin, Western India",* Journal of Asian Earth Sciences 27 (2006) 857-872.

[46] Dickinson W.R., Beard L.S., Brakenridge G.R., Erjavec J.L., Ferguson R.C., Inman K.F., Knepp R.A., Lindberg F.A., Ryberg P.T., *"Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting",* Geological Society of America Bulletin 94 (1983) 222–235.

[47] Dickinson W.R., Suczek C., *"Plate tectonics and sandstone composition",* American Association of Petroleum Geologists Bulletin 63 (1979) 2164–2182.

[48] Ruban D.A., Al-Husseini M.I., Iwasaki Y., *"Review of Middle East Paleozoic plate tectonics",* GeoArbia 12(3) (2007) 35-56.

[49] Torsvik T.H., Cocks L.R.M., *"Earth geography from 400 to 250 Ma: a palaeomagnetic, faunal and facies review",* Journal of the Geological Society of London 161 (2004) 555-572.

[50] Jamshidipour A., Khanehbad M., Moussavi Harami S.R., Mahboubi A., *"Petrography and element geochemistry of dolomites of Sibzar Formation, east of Neyshabur (In Persian)",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27(2) (2019) 423-436

[51] Vleeschouwer D.D., Crucifix M., Bounceur N., Claeys, P., *"The impact of astronomical forcing on the Late Devonian greenhouse climate",* Global and Planetary Change 120 (2014) 65–80.

[29] Steffen K., Rüdiger D., Ulrike S., Hannelore K., *"Provenance of the Carboniferous Hochwipfel Formation (Karawanken Mountains, Austria/Slovenia)-Geochemistry versus petrography",* Sedimentary Geology 203 (2007) 246-266.

[30] Wanas H.A., Abdel-Maguid N.M., *"Petrography and geochemistry of the Cambro Ordovician Wajid Sandstone, southwest Saudi Arabia: Implications for provenance and tectonic setting",* Journal of Asian Earth Sciences 27 (2006) 416–429.

[31] Folk E., *"Petrography of Sedimentary Rocks",* Hemphill Publishing Company (1980) 182.

[32] Potter P.E., *"Petrology and chemistry of modern big river sands",* Journal of Geology 86 (1978) 423-449.

[33] Roser B.P., Cooper R.A., Nathan S., Tulloch A.J., *"Reconnaisance sandstone geochemistry, provenance and tectonic setting of the Lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand",* New Zealand Journal Geology and Geophysics 39 (1996) 1-16.

[34] Boggs S.Jr., *"Petrology of Sedimentary Rocks",* Cambridge University Press, 2nd Edition (2009) 621.

[35] Khan S., Ahmad A.H.M., Alam M.M., Quasim A., *"Petrographical and geochemical signatures of Jurassic rocks of Chari Formation, Western India: implications for provenance and tectonic setting",* Acta Geochimica 35(2) (2016) 184-202.

[36] Lacassie J.P., Roser B., Ruiz Del Solar J., Herve F., *"Discovering geochemical patterns using self-organizing neural networks: a new perspective for sedimentary provenance analysis",* Sedimentary Geology 165 (2004) 175-191.

[37] Roser B.P., Korsch R.J., *"Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO_2 content and K_2O/Na_2O ratio",* Journal of Geology 94 (1986) 635–650.

[38] Hayashi K., Fujisawa H., Holland H.D., Ohmoto H., *"Geochemistry of 1.9 sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada",* Geochimica et Cosmochimica Acta 61 (1997) 4115–4137.

[39] Jacobson A.D., Blum J.D., Chamberlain C.P., Craw D., Koons P.O., *"Climatic and tectonic controls on chemical weathering in the New Zealand Southern Alps"* Geochimica et Cosmochimica Acta 37 (2003) 29–46.

[40] Nesbitt H.W., Young G.M., *"Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based upon thermodynamic and kinetic*